УДК 620.92:69 https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-2-43-52

Сопряженное решение проблем повышения эффективности инженерных систем энергоснабжения и обращения с отходами

В. И. Беспалов, О. С. Гурова, О. Н. Парамонова

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. В современных условиях экономического развития общества для получения тепловой энергии, которая затем, в зависимости от назначения инженерной системы энергоснабжения, преобразуется в другие виды энергии, применяются технологические комплексы, преимущественно использующие в качестве источника энергии различные виды органического и углеводородного топлива. При этом, наряду с увеличивающейся потребностью человечества в энергии наблюдается значительный рост образования и накопления отходов производства и потребления, среди которых наибольший объем приходится на твердые коммунальные отходы (ТКО).
Постановка задачи. Задачей данного исследования является обеспечение возможности сопряженного решения проблем увеличения производства энергии и повышения экологической эффективности системы обращения с ТКО на основе формулирования научной гипотезы и научных подходов, базирующихся на основных положениях теории дисперсных систем и рассмотрении ТКО, как совокупности дисперсных систем, обладающих определенным запасом энергии и теплотворной способности. Необходимо было на основании такого подхода усовершенствовать технологии утилизации ТКО с целью извлечения из них максимального количества различных видов энергии.
Теоретическая часть. Предлагаемый принципиально новый научный подход, основанный на энергетической классификации отдельных видов отходов в составе ТКО, а также энергетической индексации технологий их утилизации, позволяет усовершенствовать современную систему обращения с ТКО, исходя из условий извлечения максимально возможного количества различных видов энергии из отходов и обеспечения минимального (в пределах установленных нормативов) негативного воздействия отходов на окружающую среду.
Выводы (заключение). Предлагаемая авторами научная гипотеза базируется на том, что ТКО можно использовать в качестве топлива, обладающего определенным, весьма значительным запасом энергии. Планируемые авторами дальнейшие научные исследования, связанные с выявлением, формализацией и доказательством отдельных закономерностей, описанных в качестве предположений, позволят в перспективе обобщить предложенный для ТКО научный подход практически на все другие виды отходов, которые по ряду причин не могут перерабатываться и вторично использоваться.

Ключевые слова: инженерные системы энергоснабжения, твердые коммунальные отходы (ТКО), теплотворная способность, системы обращения с ТКО, энергетическая классификация ТКО, энергетическая индексация технологий утилизации ТКО.

Для цитирования: Беспалов В. И., Сопряженное решение проблем повышения эффективности инженерных систем энергоснабжения и обращения с отходами / В. И. Беспалов, О. С. Гурова, О. Н. Парамонова // // Безопасность техногенных и природных систем. 2020. — № 2 — С. 43‒52. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-2-43-52

Combined solution to problems of increasing the efficiency of engineering systems of power supply and waste management

V. I. Bespalov, O. S. Gurova, O. N. Paramonova

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. In modern conditions of economic development of society, technological complexes are used to obtain thermal energy, which is then converted into other types of energy, depending on the purpose of the engineering power supply system. They mainly use various types of organic and hydrocarbon fuels as an energy source. At the same time, along with the increasing demand of mankind for energy, there is a significant increase in the formation and accumulation of production and consumption waste, among which the largest volume is accounted for solid municipal solid waste (MSW).

Problem Statement. The purpose of this study is to provide a possibility for solving the problems of increasing energy production and improving the environmental efficiency of the MSW management system by formulating a scientific hypothesis and scientific approaches based on the main provisions of the theory of dispersed systems and considering MSW as a set of dispersed systems that have a certain amount of energy, and therefore, calorific value. Based on this approach, it is necessary to improve technologies for recycling MSW in order to extract the maximum amount of various types of energy from them.
Theoretical Part. The proposed fundamentally new scientific approach, based on the energy classification of certain types of waste in MSW, as well as energy indexing of technologies for their utilization, allows us to improve the modern system for handling MSW, based on the conditions for extracting the maximum possible amount of different types of energy from waste and ensuring a minimum (within the established standards) negative impact of waste on the environment.
Conclusions. The scientific hypothesis proposed by the authors is based on the fact that MSW can be used as a fuel that has a certain, very significant energy reserve. The authors plan further scientific research related to the identification, formalization and proof of certain patterns described as assumptions, which in the future will allow generalizing the scientific approach proposed for MSW to almost all other types of waste, which for a number of reasons cannot be recycled and reused.

Keywords: engineering systems of power supply, municipal solid waste (MSW), calorific value, MSW handling systems, energy classification of MSW, energy indexing of MSW utilization technologies.

For citation: Bespalov V.I., Gurova O.S., Paramonova O.N. Combined solution of problems of increasing the efficiency of engineering systems of power supply and waste management: Safety of Technogenic and Natural Systems. 2020;2: 43−52. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-2-43-52

Введение. Одной из фундаментальных основ развития мировой экономики является энергетика, главная задача которой заключается в производстве и передаче потребителям различных видов энергии (в основном, тепловой, электрической, механической) для обеспечения интенсивного развития всех сфер жизнедеятельности мирового сообщества [1–3]. При этом главным технологическим звеном энергетики являются инженерные системы энергоснабжения, представляющие собой технологические комплексы, обеспечивающие, во-первых, извлечение энергии из различных видов топлива (твердого, жидкого, газообразного) с последующим ее преобразованием, либо преобразование одного вида энергии природных явлений, процессов и факторов в другой ее вид, и, во-вторых, транспортировку произведенной энергии потребителям. Таким образом, инженерная система энергоснабжения представляет собой совокупность генерирующих, преобразующих и передающих потребителям энергетических установок, посредством которых осуществляется обеспечение потребителей всеми необходимыми видами энергии для ее использования в процессах производства и жизнедеятельности.

В мировой практике и в России к такого рода инженерным системам энергоснабжения относятся (таблица 1, рис. 1):

– технологические комплексы, использующие в качестве источника энергии различные виды органического и углеводородного топлива (торф, уголь, нефть, газ и др.) — котельные, теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), государственные районные электростанции (ГРЭС), теплоэлектростанции (ТЭС), [4];

– технологические комплексы, использующие в качестве источника энергии ядерное топливо (слабо обогащенный или необогащенный природный уран, смесь урана с плутонием (МОХ-топливо)) в форме тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) — атомные электростанции (АЭС) [5, 6];

– технологические комплексы, использующие в качестве источника энергии ветровой поток, — ветроэнергетические установки (ВЭУ);

– технологические комплексы, использующие в качестве источника энергии солнечную радиацию, — гелиоэнергетические установки (ГЭУ);

– технологические комплексы, использующие в качестве источника энергии теплоту недр Земли, — установки низкопотенциальной энергии (ГеоТЭС);

– технологические комплексы, использующие в качестве источника энергии водные потоки, — гидроэнергетические установки (ГУ), гидроэлектростанции (ГЭС), приливные электростанции (ПЭС), волновые электростанции (ВолЭС);

– технологические комплексы, использующие в качестве источника энергии побочные продукты (отходы) сельскохозяйственного производства, перерабатывающей и пищевой промышленности, — биогазовые установки (БГУ).

Таблица 1

Основные источники энергии и инженерные системы энергоснабжения

Источник энергии	Вид источника энергии	Технология преобразования энергии	Тип инженерной системы энергоснабжения
Топливо	Уголь, торф, нефть газ, отходы	Сжиганием	Котельные, ТЭЦ, ГРЭС, ТЭС
	Ядерное горючее: ^{233}U, ^{235}U, ^{239}Pu	Ядерным распадом	АЭС
	Термоядерный синтез	Термоядерной реакцией	Станции реакции синтеза
Природные процессы и явления	Движение воздуха в атмосфере	Потоком воздуха	ВЭУ
	Солнечная радиация	Фотоэффектом, теплообменом	ГЭУ
	Геотермальное тепло Земли	Подземным теплообменом	ГеоТЭС
	Речные и морские течения, волны, приливы и отливы	Движением водной среды	ГУ, ГЭС, ПЭС, ВолЭС
	Побочные продукты и отходы растительного и животного происхождения	Биологическими процессами	БГУ

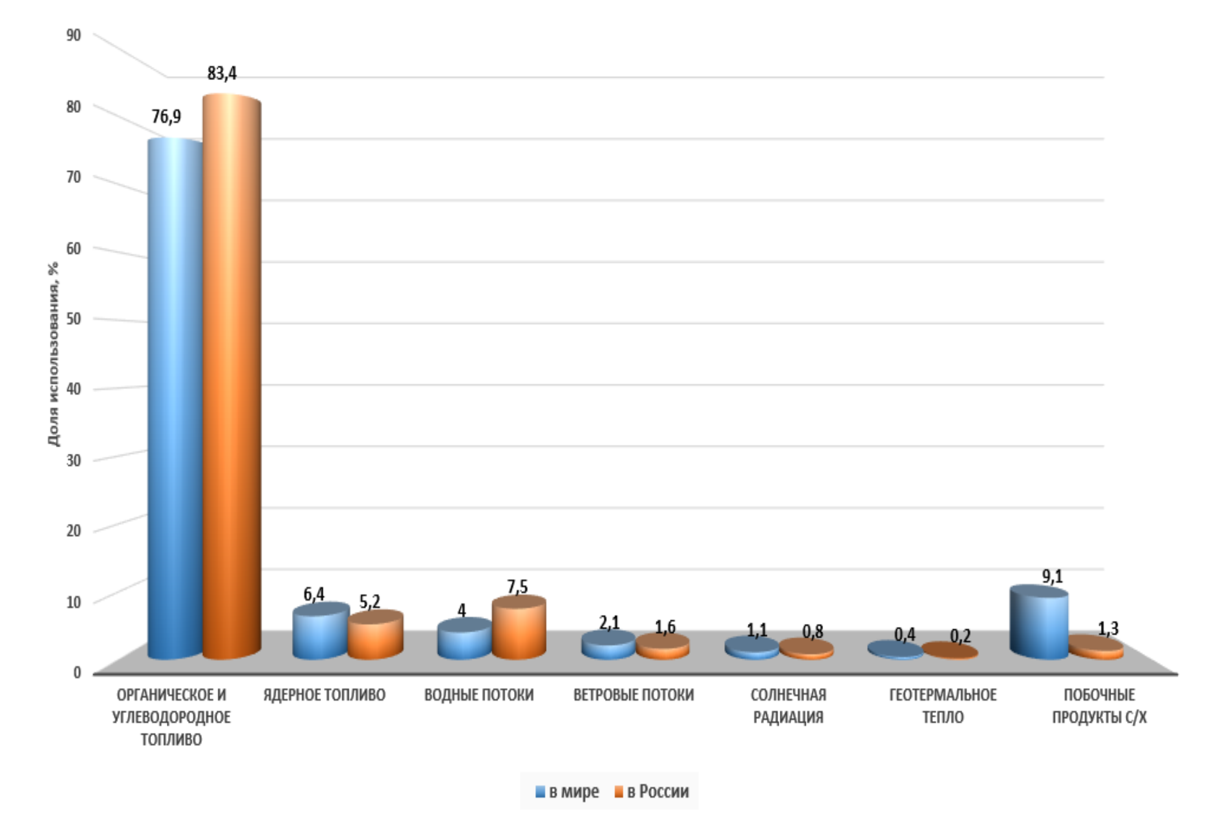


Рис. 1. Использование различных видов источников энергии в мире и в России

Анализ масштабов применения перечисленных технологических комплексов в мировой энергетике и в России позволяет заключить, что наиболее широко в современных условиях экономического развития общества применяются технологические комплексы [4], использующие в качестве источника энергии различные виды органического и углеводородного топлива.

Технологическая структура таких энергетических комплексов, представляющих собой инженерные системы энергоснабжения, включает следующие основные блоки (рис. 2):

– блок (I) хранения, подготовки и подачи топлива в зону его сжигания;
– блок (II) сжигания топлива и производства тепловой энергии;
– блок (III) преобразования тепловой энергии в другие ее виды (механическую, электрическую);
– блок (IV) транспортировки произведенных видов энергии (тепловой, электрической) потребителям;
– блок (V) вспомогательных технологических процессов, обеспечивающих надежную, бесперебойную, эффективную, безопасную эксплуатацию всего энергетического комплекса.

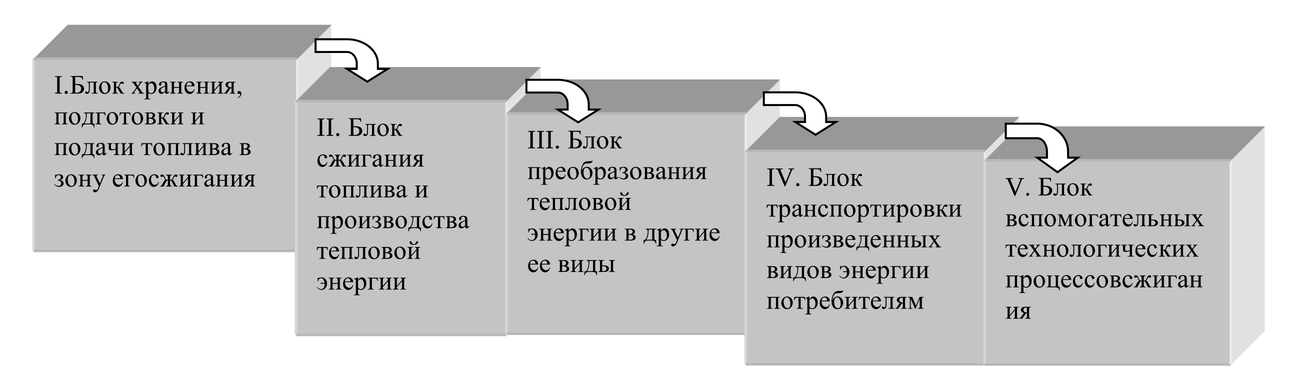


Рис. 2. Технологическая структура инженерных систем энергоснабжения

Однако в настоящее время, кроме термической (сжиганием), известны и другие технологии получения энергии из вещества: экзотермические химические, фотохимические, биологические и другие. Тем не менее, в описанных выше энергетических комплексах в качестве основного технологического процесса извлечения из топлива энергии применяют термический процесс (процесс сжигания топлива) для получения, прежде всего, тепловой энергии, которая затем, в зависимости от назначения конкретной инженерной системы энергоснабжения, может быть преобразована в другие виды энергии (например, механическую и электрическую) [7]. При этом одной из наиболее важных характеристик топлива с точки зрения возможности получения энергии является его теплотворная способность (Дж/кг, Дж/м³, Дж/л), характеризуемая количеством теплоты (Дж), выделяемым при полном сгорании топлива массой 1 кг или объемом 1 м³ (1 л) (рис. 3) [8, 9].

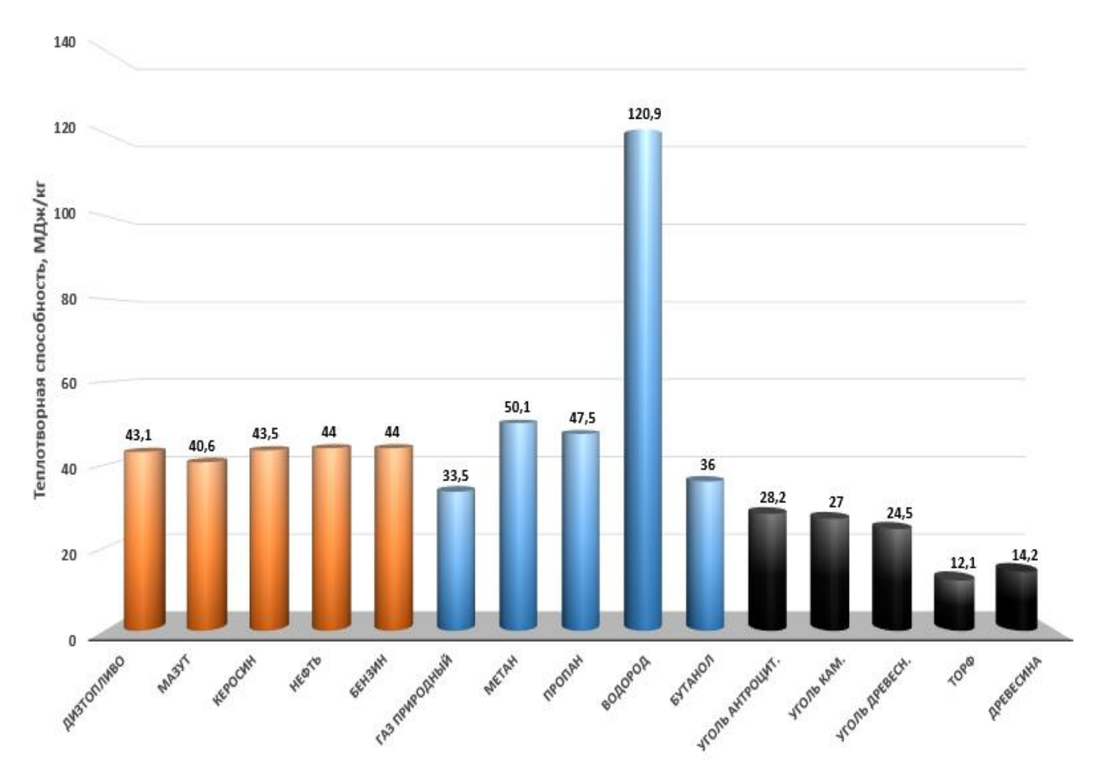


Рис. 3. Теплотворная способность различных видов топлива

Высокие значения теплотворной способности органического и углеводородного топлива объясняют наиболее широкое применение в энергетике именно технологических комплексов, реализующих процесс сжигания этого топлива [10].

Постановка задачи. Несмотря на интенсивное развитие мировой энергетики, в современных экономических условиях многие страны испытывают постоянный дефицит производства различных видов энергии. В связи с этим проблема неуклонного роста производства энергии остается весьма актуальной.

Наряду с увеличивающейся потребностью человечества в энергии и необходимостью дальнейшего развития энергетики в современных условиях в мировом масштабе наблюдается значительный рост образования и накопления отходов производства и потребления, среди которых наибольший объем приходится на твердые коммунальные отходы (ТКО) [11]. Проблема обращения с ТКО непосредственно связана с возможностью возникновения экологической опасности на международном уровне и может привести к значительному загрязнению окружающей среды (ОС) в случае их несвоевременного удаления и обезвреживания. При этом организация систем обращения с ТКО ежегодно усложняется, что обусловлено постоянным увеличением массы (объемов) образующихся отходов, трансформацией их состава и свойств, а также недостатком экономических ресурсов во многих странах, необходимых для эффективной переработки основной массы ТКО и утилизации их остатка.

Теоретическая часть. Именно поэтому в современных условиях в России и во многих других странах на государственном уровне уделяется особое внимание значительному повышению эффективности системы обращения с ТКО на основе совершенствования технологий их сбора, накопления, транспортировки, сортировки, переработки и утилизации [12, 13].

Структура реализуемой в современных условиях многими странами достаточно эффективной, с точки зрения обеспечения экологической безопасности территорий, системы обращения с ТКО предполагает реализацию следующих основных этапов (рис. 4):

– раздельные сбор и накопление ТКО, как «внутреннее» (внутри помещений, зданий, сооружений), так и «внешнее» (за пределами помещений, зданий, сооружений);
– раздельную транспортировку ТКО к местам переработки и сортировки;
– дополнительную сортировку ТКО по морфологическим признакам с разделением объема ТКО, подлежащего дальнейшей переработке, и оставшегося объема ТКО, подлежащего дальнейшей утилизации;
– дополнительную раздельную транспортировку ТКО к местам переработки;
– переработку основного объема ТКО по видам, в зависимости от морфологических характеристик;
– сбор и накопление остатка ТКО;
– дополнительную сортировку остатка ТКО по видам, в зависимости от морфологических характеристик;
– дополнительную раздельную транспортировку остатка ТКО к местам утилизации по видам, в зависимости от морфологических характеристик;
– утилизацию остатка ТКО, основанную преимущественно на их сжигании.

Такая структура системы обращения с ТКО позволяет отправлять на переработку и вторичное использование до 90–95% отходов, и лишь 5–10% отходов подлежит дальнейшей утилизации [14]. Тем не менее, в мировом масштабе даже эти 5–10% составляют невероятно огромное количество отходов, выраженное массой или объемом.

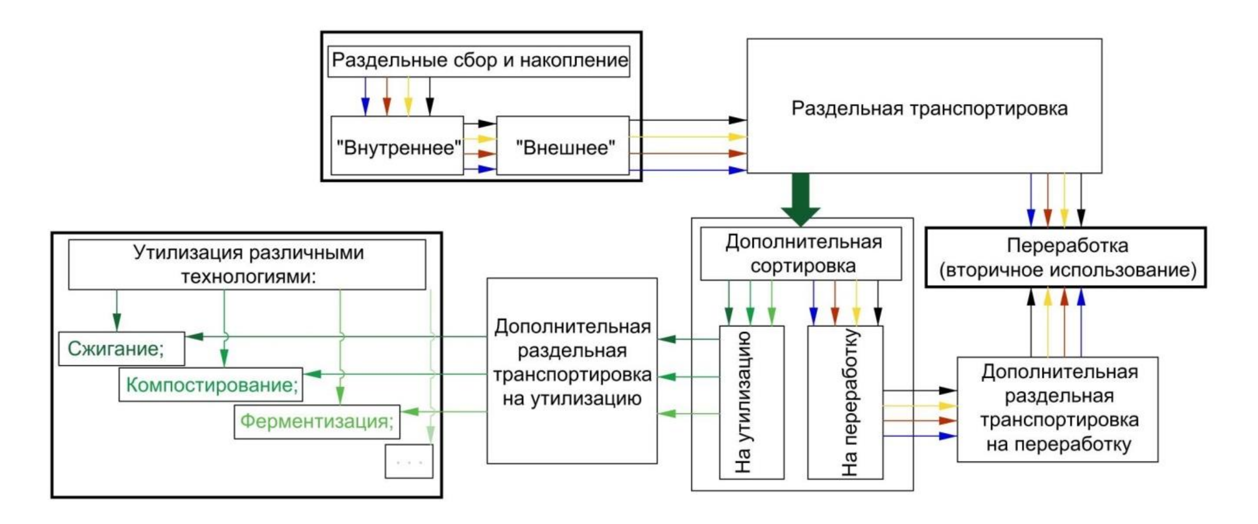


Рис. 4. Структура современной экологически эффективной системы обращения с ТКО

Рассматривая негативное воздействие системы обращения с ТКО на ОС, можно сделать вывод о том, что наибольший вклад в загрязнение практически всех основных компонентов ОС (атмосферы, водных объектов и почвы) вносит заключительный этап — утилизация остатка ТКО. В мировой практике используют различные технологии утилизации ТКО, основанные на реализации различных физических, химических, биологических процессов: захоронение (складирование в объеме грунта), сжигание при различных температурных режимах, компостирование (разложение, биодеградация), ферментизация (брожение) и другие. На рис. 4, начиная с этапа «дополнительная сортировка», отходы разделяют по морфологическим особенностям и направляют на утилизацию соответствующими технологиями (отмечено зеленым цветом).

В определенный исторический период в качестве основной технологии утилизации ТКО многие страны использовали захоронение. Однако в настоящее время большинство стран, отказавшись от захоронения, используют технологию сжигания, как наиболее эффективную с экологической точки зрения.

Необходимость сопряженного решения двух перечисленных проблем привела авторов к выбору направлений дальнейших исследований и формулированию научной гипотезы, которая заключается в:

– рассмотрении ТКО как совокупности дисперсных систем, обладающих определенным запасом энергии, а, следовательно, теплотворной способностью;

– рассмотрении каждого вида отходов в составе ТКО в качестве топлива, характеризуемого соответствующим диапазоном значений теплотворной способности;

– классификации отходов в составе ТКО по группам в соответствии со значениями теплотворной способности;

– классификации физических, химических, биологических и других технологий утилизации отходов в составе ТКО, исходя из возможностей этих технологий для извлечения из отходов максимального количества различных видов энергии;

– совершенствовании структуры современной системы обращения с ТКО на основе:

- включения в нее этапа, связанного с дополнительной сортировкой остатка ТКО, но не по видам, в зависимости от морфологических характеристик (как это принято в настоящее время), а по группам, в зависимости от значений теплотворной способности;
- выбора такой технологии утилизации, которая окажется оптимальной по условиям извлечения из отходов выбранной группы (по значениям теплотворной способности) максимального количества различных видов энергии.

Рассмотрим более подробно основные положения предлагаемой научной гипотезы.

Предлагаемая научная гипотеза и новый научный подход базируются на основных положениях физической и коллоидной химии, в первую очередь, на теории дисперсных систем [15, 16], согласно которой любую материю можно рассматривать в качестве дисперсной системы. Характерной особенностью дисперсной системы является определяющая роль поверхностных явлений, так как поверхность раздела фазовых составляющих достаточно велика и представляет собой поле межфазных взаимодействий. Согласно этой теории ТКО представляют собой полидисперсную систему, состоящую из нескольких твердых дисперсных фаз

(отдельные фракции ТКО) и газообразной дисперсионной среды (воздушные прослойки между фракциями ТКО).

Если ТКО можно рассматривать в качестве топлива, то и их энергетические параметры можно оценивать теплотворной способностью. А как показывают некоторые примеры мировой практики, ТКО вполне могут служить топливом, обладая достаточно высокими значениями теплотворной способности (таблица 2).

Таблица 2

Физические характеристики отдельных видов отходов в составе ТКО

Примеры видов отходов	Влажность, %	Плотность, кг/м^3	Теплотворная способность (удельная низшая теплота сгорания), МДж/кг
Пищевые отходы растительного происхождения	60	80	3,43
Пищевые отходы животного происхождения	75	170	6,21
Бумага	25	130	11,49
Дерево	5–20	150–160	14,46
Полиэтиленовая пленка	8	75	23,37
ПЭТФ-бутылки	8	27	
ПВХ-бутылки	8	54	
Текстиль	20	85	15,72
Кожа	5	65	25,79
Резина	0,75	160	

Поскольку значения теплотворной способности (удельная теплота сгорания) каждого вида отходов, рассматриваемых в качестве топлива, зависят от количества горючих компонентов и изменяются в достаточно широком диапазоне, можно предложить классифицировать отходы по группам (таблица 3) в соответствии со значениями теплотворной способности.

Таблица 3

Энергетическая классификация групп ТКО по величине
их теплотворной способности

Группа ТКО	Диапазон значений теплотворной способности, МДж/кг	Примеры видов отходов
1	менее 5	Пищевые отходы растительного происхождения
2	5–10	Пищевые отходы животного происхождения
3	10–20	Бумага, текстиль, дерево
4	более 20	Кожа, резина, полиэтиленовая пленка, ПЭТФ- и ПВХ-бутылки

Наряду с энергетической классификацией групп отходов, авторами предложена энергетическая индексация (классификация) технологий утилизации отходов в составе ТКО, исходя из возможностей этих технологий для извлечения из отходов максимального количества различных видов энергии. При этом каждой технологии может быть присвоен соответствующий индекс (таблица 4).

Таблица 4

Энергетическая индексация(классификация) технологий утилизации отходов в составе ТКО по величине извлекаемой энергии

Индекс технологии утилизации	Диапазон значений извлекаемой энергии, МДж/кг	Вид технологии утилизации
1	менее 5	Биологические
2	5–10	Химические
3	10–20	Термические низкотемпературные
4	более 20	Термические высокотемпературные

В конечном счете, выбор оптимальной технологии утилизации должен основываться на условиях извлечения из отходов выбранной группы (по значениям теплотворной способности) максимального количества различных видов энергии. При этом номер группы отходов должен соответствовать индексу технологии утилизации отходов. Тогда структура системы обращения с ТКО (рис. 4), с учетом предложенной научной гипотезы и научных положений может быть трансформирована применительно к соответствующим технологиям утилизации отходов (рис. 5).

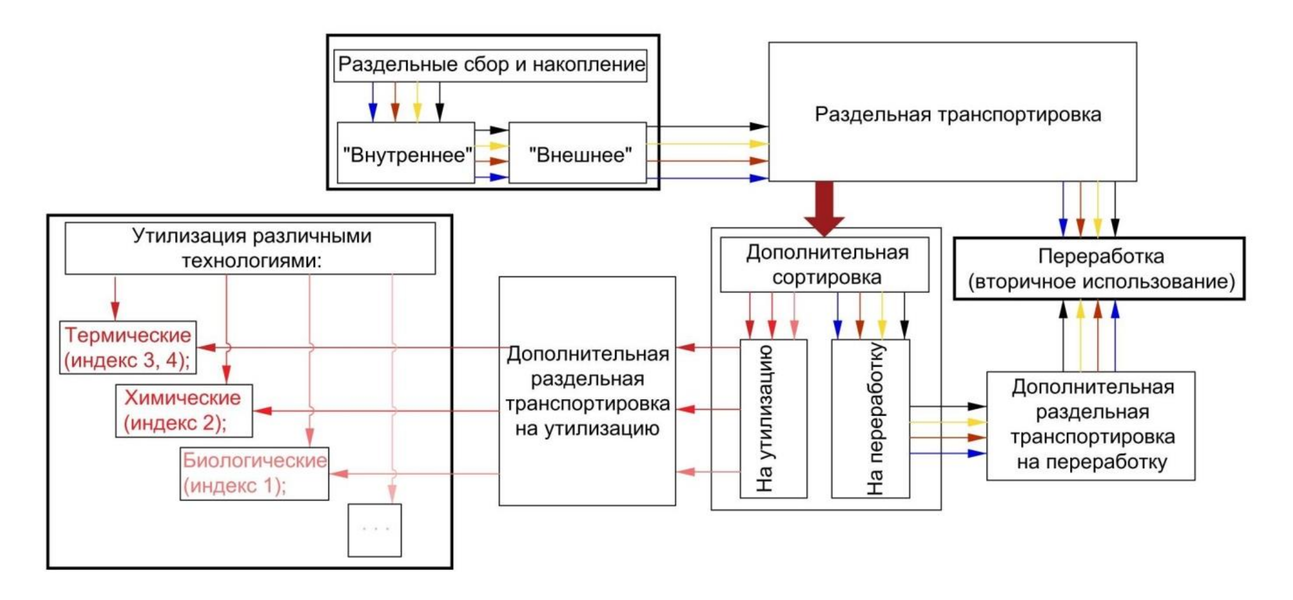


Рис. 5. Структура предлагаемой авторами экологически эффективной и энергетически экономичной системы обращения с ТКО

При этом, в отличие от структуры, представленной на рис. 4, начиная с этапа «дополнительная сортировка», отходы предлагаем разделять не по морфологическим особенностям, а по значениям теплотворной способности в соответствии с присвоенным номером группы отходов, и направлять на утилизацию технологиями с соответствующими индексами (отмечено на рис. 5 красным цветом).

Заключение. Таким образом, предлагаемая научная гипотеза базируется на том, что ТКО можно использовать в качестве топлива, обладающего определенным, весьма значительным запасом энергии. А принципиально новый научный подход, предложенный авторами и основанный на энергетической классификации как отдельных видов отходов в составе ТКО, так и на энергетической индексации технологий их утилизации, позволяет усовершенствовать современную систему обращения с ТКО, исходя из условий извлечения максимально возможного количества различных видов энергии из отходов и обеспечения минимального (в пределах установленных нормативов) негативного воздействия отходов на окружающую среду.

Следует также отметить, что планируемые авторами дальнейшие научные исследования, связанные с выявлением, формализацией и доказательством отдельных закономерностей, описанных в качестве

предположений, позволят в перспективе обобщить предложенный для ТКО научный подход практически на все другие виды отходов, которые по ряду причин не могут перерабатываться и вторично использоваться.

Библиографический список

1. Мониторинг проблем мировой энергетики — 2020: расшифровка новых сигналов [Электронный ресурс] / Росконгресс. — URL : https://roscongress.org/materials/monitoring-problem-mirovoy-energetiki-2020-rasshifrovka-novykh-signalov/ (дата обращения : 13.05.2020).

2. Рост использования возобновляемых источников энергии и энергетический переход: какая стратегия адаптации существует для нефтяных компаний и стран-экспортёров нефти? [Электронный ресурс] / Росконгресс. — URL : https://roscongress.org/materials/rost-ispolzovaniya-vozobnovlyaemykh-istochnikov-energii-i-energeticheskiy-perekhod-kakaya-strategiya/ (дата обращения : 13.05.2020).

3. Zhao J. et al. Power system dynamic state estimation: Motivations, definitions, methodologies, and future work //IEEE Transactions on Power Systems. – 2019. – Т. 34. – №. 4. – С. 3188-3198.

4. Статистический сборник ТЭК России — 2017. Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации [Электронный ресурс] / Портал «ЖКХ». — URL : http://www.zhkh.su/news/vladimir_putin_nasha_jenergetika_ustremlena_v_buduwee_26618/ (дата обращения : 13.05.2020).

5. Пиоро, И. Современное состояние и перспективы развития атомной энергетики в мире / И. Пиоро // Журнал ядерной техники и радиационной науки. — 2019. — Т. 5. — №. 2. — С.183–185.

6. Maier C., Nemec-Begluk S., Gawlik W. Optimal allocation of energy storage and conversion technologies in an urban distributed energy system. – 2019.

7. Теплотворная способность топлива [Электронный ресурс] / Neftegaz.RU. — URL : https://neftegaz.ru/tech-library/ngk/148129-teplotvornaya-sposobnost-topliva/ (дата обращения : 13.05.2020).

8. ГОСТ Р 54261–2010. Ресурсосбережение. Обращение с отходами и производство энергии. Стандартный метод определения высшей теплотворной способности и зольности отходов материалов [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. — URL : http://docs.cntd.ru/search/intellectual?q =+Ресурсосбережение.+Обращение+с+отходами+и+производство+энергии.+Стандартный+метод+определения +высшей+теплотворной+способности+и+зольности+отходов+материалов+ (дата обращения : 13.05.2020)

9. Удельная теплота сгорания топлива и горючих материалов [Электронный ресурс] / Thermalinfo.ru. — URL : http://thermalinfo.ru/eto-interesno/udelnaya-teplota-sgoraniya-topliva-i-goryuchih-materialov (дата обращения : 13.05.2020).

10. Стратегическое партнерство с крупнейшим химическим заводом [Электронный ресурс] / EcoSfndart. — URL : https://ecostandardgroup.ru/center/release/vladimir-putin-ozvuchil-ekologicheskie-tseli-rossii-v-poslanii-federalnomu-sobraniyu-/?utm_referrer=www.vedomosti.ru (дата обращения : 13.05.2020).

11. «Мы тонем в мусоре»: Путин рассказал о решении проблемы [Электронный ресурс] / Газета.ru/ — URL : https://www.gazeta.ru /business/2019/06/20/12428677.shtml (дата обращения : 13.05.2020).

12. Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. — URL :http://docs.cntd.ru/document/556353696 (дата обращения : 13.05.2020).

13. Парамонова, О. Н. Разработка методики оценки и выбора экологически эффективной и энергетически экономичной системы обращения с твердыми отходами потребления на городских территориях : дис. ... канд. техн. наук / О. Н. Парамонова. — Ростов-на-Дону, 2014. — 185с.

14. Vetvey E.J., Overbeek J. Th. G. Theory of the stability of lyophobic colloids. N. Y.: Elsevier,1948.

15. Дерягин, Б. В. Поверхностные силы / Б. В. Дерягин, М. В. Чураев, В. М. Муллер. — Москва : Наука, 1985. — 398 с.

Сдана в редакцию 05.03.2020
Запланирована в номер 17.04.2020

Об авторах:

Беспалов Вадим Игоревич, заведующий кафедрой «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2123-8141, izos-rgsu@mail.ru

Гурова Оксана Сергеевна, профессор кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, доцент, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7160-4288, okgurova@yandex.ru

Парамонова Оксана Николаевна, доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7854-6703, paramonova_oh@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:
В. И. Беспалов — научное руководство и формирование основной концепции, формирование цели и задач исследования; О. С. Гурова — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов; О. Н. Парамонова — подготовка текста, рисунков, формирование выводов.

Submitted 05.03.2020
Scheduled in the issue 17.04.2020

Information about the authors:
Bespalov, Vadim I., Head, Department of Environmental Engineering, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Dr. Sci., Professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2123-8141, izos-rgsu@mail.ru

Gurova, Oksana S., Professor, Department of Environmental Engineering, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Dr. Sc., Associate Professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7160-4288, okgurova@yandex.ru

Paramonova, Oksana N., Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Cand. Sci., Associate Professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7854-6703, paramonova_oh@mail.ru

Contribution of the authors:
V. I. Bespalov — scientific supervision and formation of the main concept, formation of the purpose and objectives of the research; O. S. Gurova — analysis of research results, revision of the text, correction of conclusions; O. N. Paramonova — preparation of the text, drawings, formation of conclusions.